

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2005 年 9 月 15 日 (15.09.2005)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2005/085911 A1

(51) 国際特許分類: G02B 1/02, 6/12

(21) 国際出願番号: PCT/JP2005/003796

(22) 国際出願日: 2005 年 3 月 4 日 (04.03.2005)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2004-061737 2004 年 3 月 5 日 (05.03.2004) JP(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立
大学法人京都大学 (KYOTO UNIVERSITY) [JP/JP];
〒6068501 京都府京都市左京区吉田本町 3 6 番地 1
Kyoto (JP). TDK 株式会社 (TDK CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1038272 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番
1 号 Tokyo (JP). アルプス電気株式会社 (ALPS ELEC-
TRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1458501 東京都大田区雪
谷大塚町 1 番 7 号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

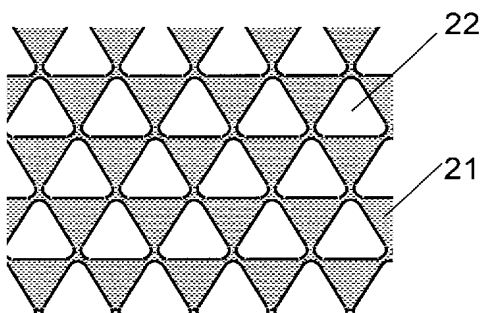
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 野田 進 (NODA,
Susumu) [JP/JP]; 〒6158530 京都府京都市西京区京都
大学桂 京都大学大学院工学研究科内 Kyoto (JP). 浅
野 卓 (ASANO, Takashi) [JP/JP]; 〒6158530 京都府京
都市西京区京都大学桂 京都大学大学院工学研究科
内 Kyoto (JP). 高山 清市 (TAKAYAMA, Seiichi) [JP/JP];
〒1038272 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号
TDK 株式会社内 Tokyo (JP). 北川 均 (KITAGAWA,Hitoshi) [JP/JP]; 〒1458501 東京都大田区雪谷大塚町
1 番 7 号 アルプス電気株式会社内 Tokyo (JP).(74) 代理人: 小林 良平 (KOBAYASI, Ryohei); 〒6008091
京都府京都市下京区東洞院通四条下ル元恵王子町
3 7 番地 豊元四条烏丸ビル 7 階 小林特許商標事務
所 Kyoto (JP).(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が
可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR,
BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,
ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT,
LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI,
NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護
が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA,
SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ,
BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE,
BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される
各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。(54) Title: TWO-DIMENSIONAL PHOTONIC CRYSTAL AND OPTICAL MULTIPLEXER/DEMULTIPLEXER EMPLOYING
IT

(54) 発明の名称: 2 次元フォトニック結晶およびこれを用いた光合分波器

(57) Abstract: A two-dimensional photonic crystal in which a
complete photonic band gap (PBG) becoming PBG for both TE
polarized wave and TM polarized wave in a specified wavelength
region is formed and the width that complete PBG of can be ensured
sufficiently. Holes (22) each having a right triangular basic shape
are arranged in a triangular lattice form in the body (21). A complete
PBG is formed by such shape and arrangement of the holes. Distance
between adjacent holes (i.e. the width at the joint of the body) is
ensured by cornering the vertexes of the right triangle arcuately, and
the hole (22) can be enlarged while ensuring sufficient strength of the
two-dimensional photonic crystal. Consequently, the complete PBG
width can be increased.(57) 要約: 本発明は、所定の波長領域で TE 偏波と TM 偏波の双方に対してフォトニックバンドギャップ (PBG) とな
る完全 PBG を形成し、且つ、その完全 PBG 幅を十分に確保することができる 2 次元フォトニック結晶を提供するた
めに成されたものである。本体 21 に、基本的形状が正三角形の空孔 22 を三角格子状に配置する。このような空
孔の形状及び配置により完全 PBG が形成される。そして、この正三角形の頂点を円弧状に角取りすることにより、
隣接する空孔間の距離 (すなわち、本体の接続部分の幅) を確保して、2 次元フォトニック結晶の強度を十分に確
保しつつ、空孔 22 を大きくすることができる。これにより、完全 PBG 幅を広くすることができる。

WO 2005/085911 A1

明 細 書

2次元フォトニック結晶およびこれを用いた光合分波器

技術分野

- [0001] 本発明は、波長分割多重通信等において光分合波器等として用いられる2次元フォトニック結晶に関する。なお、本願において用いる「光」には、可視光以外の電磁波も含むものとする。

背景技術

- [0002] 光通信は、今後のブロードバンド通信の中心的役割を担う通信方式である。光通信の普及のために、そのシステムに使用される光部品類に対して、より高性能化、小型化、低価格化が求められている。フォトニック結晶を利用した光通信用デバイスは、このような要求を満たす次世代光通信部品の有力候補のひとつである。
- [0003] フォトニック結晶は、誘電体に周期構造を人工的に形成したものである。周期構造は一般に、誘電体本体とは屈折率が異なる領域(異屈折率領域)を本体内に周期的に設けることにより形成される。その周期構造により、結晶中に光のエネルギーに関してバンド構造が形成され、光の伝播が不可能となるエネルギー領域が形成される。このようなエネルギー領域を「フォトニックバンドギャップ」(Photonic Band Gap:PBG)と呼ぶ。PBGが形成されるエネルギー領域(波長帯)は、誘電体の屈折率や周期構造の周期により定まる。
- [0004] このフォトニック結晶中に適切な欠陥を導入することにより、PBG中にエネルギー準位(欠陥準位)が形成され、その欠陥準位に対応する波長の光のみがその欠陥の近傍に存在できるようになる。従って、このような欠陥を有するフォトニック結晶はその波長の光の光共振器として使用することができ、更に、この欠陥を線状に設けることにより導波路として使用することができる。
- [0005] 本体をシリコン板、異屈折率領域を空気(空孔)とした場合、現在の光通信で一般的に使用されている波長 $1.25\sim 1.65\mu\text{m}$ の近赤外光に対する結晶周期の大きさは $1\mu\text{m}$ 以下であることが要求され、その加工に際してはナノメートルオーダーの精度が要求される。しかし、近年の加工プロセス機の性能向上によりナノメートルスケールの

加工も可能となってきたことから、光通信用フォトニック結晶は既に一部で実用化段階に入っており、偏波分散補償用フォトニック結晶ファイバーなどが実用に供されている。現在は更に、波長分割多重通信(WDM)に使用される光分合波器等の開発が実用化に向けて進められている。

[0006] 特許文献1には、本体(スラブ)に異屈折率領域を周期的に配置し、その周期的配置に欠陥を線状に設けることにより導波路を形成するとともに、その導波路に隣接して点状欠陥を形成した2次元フォトニック結晶が記載されている。この2次元フォトニック結晶は、導波路内を伝播する様々な波長の光のうち共振器の共振波長に一致する波長の光を外部へ取り出す分波器として機能すると共に、外部から導波路に導入する合波器としても機能する。

[0007] 多くの2次元フォトニック結晶では、電場が本体に平行に振動するTE偏波又は磁場が本体に平行に振動するTM偏波のどちらか一方の偏波の光に対してPBGが形成されるように設計される。例えば、周期構造を三角格子とし、異屈折率領域を円形(円柱状)とした場合、TE偏波に対してのみPBGが形成される。このような2次元フォトニック結晶の導波路や共振器では、TE偏波のみを使用する限り、ほとんど損失が生じない。しかし、TM偏波についてはPBGが形成されないため、TM偏波は本体内を自由に伝播してしまう。従って、両偏波を含む光が2次元フォトニック結晶の導波路や共振器に導入された場合、一方の偏波は本体内へ漏洩してしまうため、光伝播効率が低下する。

[0008] そこで、TE偏波及びTM偏波に対して共にPBGを形成し、しかも両PBGが共通域を持つようにした2次元フォトニック結晶が検討されている。以下、この共通域を「完全フォトニックバンドギャップ(完全PBG)」と呼ぶ。例えば、非特許文献1には、図1(a)の平面図に示すように、スラブ11に三角形(三角柱状)の空孔12を三角格子状に周期的に配置することにより完全PBGが形成される2次元フォトニック結晶が記載されている。この2次元フォトニック結晶では、完全PBG内の波長の光は、TE偏波及びTM偏波のいずれであっても、導波路や共振器等から本体へ漏れることがなく、効率の低下が生じない。

[0009] また、非特許文献1の2次元フォトニック結晶では、単位格子の面積に対するその

単位格子内の空孔(異屈折率領域)の面積分率であるフィリングファクタ(FF)を大きくすることにより、完全PBGの幅を拡大することができる。これにより、使用可能な波長帯域を広くすることができる。

[0010] しかし、非特許文献1の構成では、図1(b)に示すように、FFの値を0.5にすると隣接する空孔12と接してしまうため、實際上0.5以上のFF値をとることはできない。また、0.5以下であっても、FF値を大きくすると、三角形の頂点における本体の接続部分が細くなり、スラブ11の強度が低下するため、実用上はFF値を0.45以下にしなければならない。このように、非特許文献1の構成では、設定可能な完全PBG、及びそれにより定まる使用可能な波長帯域の広さに限界があった。

[0011] 特許文献1:特開2001-272555号公報([0023]〜[0027]、[0032]、図1、図5〜6)

非特許文献1:北川均 他、『2次元フォトリック結晶スラブにおける完全フォトリックバンドギャップ』、第50回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集、社団法人応用物理学会、2003年3月、p. 1129

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0012] 本発明が解決しようとする課題は、目的とする波長帯域において十分に広い完全PBG幅を有する2次元フォトリック結晶を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0013] 上記課題を解決するために成された本発明は、
スラブ状の本体に該本体とは屈折率の異なる同一形状の領域を周期的に配置して成る2次元フォトリック結晶であって、
前記異屈折率領域の平面形状が、頂点を角取りした多角形であることを特徴とする。

発明の実施の形態及び効果

[0014] 本発明では、スラブ状の本体に、同一形状の異屈折率領域を周期的に配置することにより、2次元フォトリック結晶を形成する。異屈折率領域は、本体とは屈折率の異なる有形部材を本体内に埋め込むことにより形成することもできるが、空気(即ち、空

孔)とすることが、屈折率の差を大きくすることができるという点、及び製造上の容易さの点より、好適である。

[0015] 本発明では、この異屈折率領域の平面形状を、頂点を角取りした多角形とする。まず、多角形とすることにより、円形とした場合よりも2次元結晶構造の対称性が下がる。これにより、TE偏波とTM偏波の双方に対してPBGが形成される。この両PBGが共通域を持つように多角形の形状を選択することにより、完全PBGが形成される。そのような多角形には、正三角形、正方形や正六角形がある。

[0016] 本発明では、この頂点の角を取ることににより、異屈折率領域の頂点において、隣接する異屈折率領域との間に十分な太さの本体の接続部分を確保することができるようにした。これにより、2次元フォトニック結晶として実用上必要な強度を確保しつつ、角以外の部分の異屈折率領域を大きくすることにより異屈折率領域全体の面積を大きくして、大きなFF値を得ることができる。すなわち、頂点の角を取らない場合よりも完全PBG幅を広くすることができ、光デバイス等として使用可能な波長帯域を広くすることができる。例えば、平面形状が三角形の場合には、従来、理論上はFF値を0.5以上、実際には結晶の強度を確保するために0.45以上にすることができなかったのに対して、本発明では強度を確保しつつFF値を0.45以上、更には0.5以上にもすることができる。

[0017] 頂点の角取りは、頂点を1本の直線で切断する直線的なものでもよいが、以下の理由により、円弧状であることが望ましい。現在の光通信で一般的に使用されている波長1.25～1.65 μm の近赤外光に対するフォトニック結晶では、製造の際にナノメートルスケールの加工が要求される。例えば、異屈折率領域が正三角形の平面形状を有する空孔であって、目的波長の中心値が1.55 μm の場合、その空孔の一辺の長さは約350nmとなる。このようなスケールの加工をドライエッチング等の方法により行うと、多角形の鋭い角を出すことは難しい。従って、空孔作製の容易さの点から、頂点付近は円弧状であることが望ましい。なお、異屈折率領域が空孔ではなく、何らかの有形部材を本体内に埋め込む場合でも、同様に加工容易性の理由から、頂点の角を円弧状とすることが望ましい。

[0018] 本発明において頂点の角取りを行う際、原多角形の基本的形状は残すようにする

必要がある。例えば、正三角形の頂点を直線で角取りする場合、仮に、一辺における切除長さを辺の長さの1/3とすれば、角取り後の形状は正六角形となり、もはや正三角形という基本的形状は失われてしまう。そのため、この場合には切除長さを辺の長さの1/3以下とする必要がある。一方、円弧状に角取りすると、多角形の基本的形状を失うことはないため、直線状に角取りする場合よりも大きく角取りすることができる。

[0019] 異屈折率領域の形状によっては、多角形であってもTE偏波のPBGとTM偏波のPBGに共通の帯域が形成されない、即ち完全PBGが形成されない場合がある。例えば、正方形の異屈折率領域を正方格子状に配置した場合がこれに該当する。この場合、TM偏波のPBGが開かないため完全PBGは形成されない。しかし、TE偏波のPBGは開くため、TE偏波のみを対象とする偏波依存型デバイスに対しては、この結晶構造は有効な構造である。正方格子—正方形孔の場合、隣接孔との最近接距離は頂点間の距離ではなく、辺と辺の間の距離であり、三角形孔の場合と異なる。この場合であっても加工が容易であるという効果を得ることができる。

[0020] 本発明の2次元フォトニック結晶においては、異屈折率領域の形状が3回回転対称軸とその回転軸を含む垂直鏡映面を持つ対称性を有することが望ましい。この対称性は、国際表記であるヘルマンモーガン表記では「3m」と表され、シェーンフリース表記では「C3v」と表される。このような3m対称性を有する2次元フォトニック結晶では、完全PBGが得られることが、本願発明者の一部により明らかにされている。更に、3mの対称性を有する異屈折率領域の頂点付近を円弧状等の曲線にすることにより、角取りしない場合よりも幅の広い完全PBGを有する2次元フォトニック結晶を得ることができる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]従来の2次元フォトニック結晶の一例を示す平面図。

[図2]本発明に係る2次元フォトニック結晶の一実施例を示す平面図。

[図3]本実施例の2次元フォトニック結晶における空孔の拡大図。

[図4]本実施例の2次元フォトニック結晶の電子顕微鏡写真。

[図5]完全フォトニックバンドギャップ(完全PBG)が形成される例を示すグラフ。

[図6]FF値が0.5よりも大きい空孔の周期的配置を形成する例を示す平面図。

[図7]様々なFF値及び半径 r_a における完全PBG幅の計算結果を示すグラフ。

[図8]完全PBG幅が35nmになる時の半径 r_{a-35} を計算した結果を示すグラフ。

[図9]本発明の2次元フォトニック結晶の他の実施例を示す平面図。

[図10]本実施例の2次元フォトニック結晶により形成される光分合波器の一例を示す平面図。

符号の説明

[0022] 11、21…本体(スラブ)

12、22…空孔

31…TE偏波に対応するPBG

32…TM偏波に対応するPBG(完全PBGと一致)

51…導波路

52…光共振器

実施例

[0023] 本発明に係る2次元フォトニック結晶の一実施例を図2〜4に示す。本実施例の2次元フォトニック結晶は、図2に示すように、スラブ状の本体21に、三角格子状に空孔22を設けたものである。空孔22は、図3(a)に示すように、その平面形状は基本的に正三角形23(破線)であり、各頂点を半径 r_a の内接円の円弧24で角取りしたものである。

[0024] なお、図3(b)に示すように、各頂点を直線で角取りしたものであってもよいが、空孔22を電子ビーム照射で製造する場合を考慮すると、電子ビームによる加工跡が円形になり、それをそのまま利用することができるという点で、(a)のように円弧状とすることが望ましい。

[0025] 図4に、作製した2次元フォトニック結晶の電子顕微鏡写真を示す。シリコンから成るスラブ本体21内に、正三角形の頂点を円弧状に角取りした形状の空孔22がきれいに形成されている。この2次元フォトニック結晶の三角格子の周期 a は460nm、角の円弧の半径 r_a は $0.12a$ (55nm)、FF値は0.42である。

[0026] 本実施例の2次元フォトニック結晶では、各空孔の形状(正三角形の角を円弧状にしたもの)が3mの対称性を有するため、完全PBGが形成される。ここで、FF値が0.43、

r_a が $0.15a$ の場合において、TE偏波及びTM偏波に対するPBGを平面波展開法により計算した。その際、本体21の屈折率は 3.46 (Siの屈折率)とし、TE偏波に対する有効誘電率 ϵ^{TE} を 8.92 、TM偏波に対する有効誘電率 ϵ^{TM} を 6.23 とした。また、使用する波長帯域の中心波長(以下、単に「中心波長」とする)を $1.55 \mu m$ とし、本体21の厚さを $320nm$ とした。そして、本体の上下は空気に接しているものとした。図5にその計算結果を示す。TE偏波に対してはPBG31が、TM偏波に対してはPBG32が形成されている。このうち、TM偏波のPBG32の波長帯域の全体がTE偏波のPBG31の波長帯域に重なっている。従って、TM偏波のPBG32の波長帯域において完全PBGが形成されているといえる。

[0027] 強度の点でも、本実施例は有利な効果を持つ。正三角形の頂点を円弧状とすることにより、隣接する空孔22同士の頂点間距離を大きくすることができる。すなわち、隣接する空孔22に挟まれた部分における本体の接続部分を太くすることができる。これにより、FF値を従来の実用上の上限である 0.45 以上、さらには、 0.5 よりも大きくすることができる。図6には、一例として、半径 r_a を $0.27a$ 、FF値を 0.65 としたものを示す。この場合、FF値を 0.5 以上としているが、隣接する空孔22との間に太さ $b=0.12a$ の接続部分(本体)を確保することができることがわかる。

[0028] 図7に、本体の屈折率が 3.46 、中心波長が $1.55 \mu m$ の場合の完全PBG幅を、様々なFF値及び半径 r_a において計算した結果を示す。(a)にはFF値が $0.30 \sim 0.50$ の場合を示し、(b)にはFF値が $0.50 \sim 0.85$ の場合を、(a)よりも縦軸のスケールを縮小して示す。基本的には、半径 r_a が同じ場合にはFF値が大きくなるにつれて完全PBG幅は広くなり、FF値が同じ場合には半径 r_a が大きくなるにつれて完全PBG幅は狭くなる傾向が見られる。そして、FF値が 0.35 以上の場合、半径 r_a を所定値以下とすることにより、WDMにおいて使用されるCバンド(波長 $1.530 \mu m \sim 1.565 \mu m$)の幅である $35nm$ 以上の完全PBG幅が得られることがわかる(図7(a)中の破線よりも上側)。

[0029] 次に、角の円弧の半径 r_a とFF値が完全PBGの幅(波長幅)に及ぼす影響について考察する。FF値を変化させない限り、 r_a が大きくなるに従い完全PBG幅は減少する。しかし、 r_a を大きくすることにより、正三角形の基本的形状を大きくして、それによりFF値を大きくすることができるため、前記減少分を上回って完全PBG幅を増加させること

ができる。例えば、隣接空孔の頂点間の最短距離 b を共に $0.15a$ とし、(i)空孔を正三角形とした場合($FF=0.35$)と、(ii)正三角形の頂点を円弧状にした場合($FF=0.47$)を比較する。両者は、頂点間の最短距離 b 、すなわち本体の接続部分の太さが等しいため、2次元フォトニック結晶としての強度はほぼ等しいと考えられる。図7(a)に示すように、(i)の場合、完全PBG幅は約55nm(点41)であるのに対して、(ii)の場合、完全PBG幅は約130nm(点42)と大きく増加している。

[0030] 図7(a)のグラフから分かるとおり、従来の方法では FF 値を0.5以上にすることができなかったため、完全PBG幅の理論上の上限は約180nmであった(点43)。それに対し、本発明によると FF 値を0.5以上とすることができるため、図7(b)に示すように、それ以上の幅の完全PBGを得ることができる。

[0031] なお、 FF 値を0.5以上とすると、 r_a が小さい領域において完全PBG幅が狭くなる傾向が見られる。また、 FF 値を0.7以上とすると、 r_a の全領域において、 FF 値が大きくなるにつれて完全PBG幅が小さくなる。それでも、 FF 値が0.85以下においては、 r_a を適切に設定することにより従来の理論的最大値(点43)よりも大きい完全PBG幅を得ることができる(図7(b)中の破線よりも上側)。

[0032] WDM通信においては、おおむね中心波長を $1.25\mu\text{m}$ 〜 $1.65\mu\text{m}$ とし、帯域幅を35nmとする。そこで、図2の構成において、いくつかの中心波長に対して、 FF 値を変えながら、完全PBG幅が35nmになる時の半径 r_{a-35} を計算した。その結果を図8に示す。ここでは、屈折率を3.46としたが、屈折率が3.15〜3.55の範囲ではほぼ同様の結果を得ることができる。各中心波長において、図中に示した点よりも下側、即ち半径 r_a の小さい方が、必要とされる35nm以上の完全PBG幅が形成される領域である。そして、中心波長が小さくなるほど r_{a-35} が小さくなる。そこで、中心波長が上記範囲中で最小である $1.25\mu\text{m}$ の時に、 r_{a-35} の計算値を関数

$$f(FF) = \alpha (FF - \delta)^{0.5} + \beta (FF - \delta) + \gamma (FF - \delta)^2 \quad \dots(1)$$

でフィッティングした(α , β , γ , δ はフィッティングパラメータ)。その結果、 $\alpha=1.23$, $\beta=-1.28$, $\gamma=1.03$, $\delta=0.34$ の時、実験データによく一致した。従って、中心波長が $1.25\mu\text{m}$ の時には、

$$0 < r_a < [1.23(FF-0.34)^{0.5} - 1.28(FF-0.34) + 1.03(FF-0.34)^2] \quad \dots(2)$$

を満たすようにFF及び r_a を設定することにより、35nm以上の完全PBG幅を有する2次元フォトニック結晶を得ることができる。また、中心波長が $1.25\mu\text{m}$ よりも大きい場合には、中心波長が $1.25\mu\text{m}$ の場合よりも(2)式の右边が大きくなる。従って、計算した中心波長の範囲($1.25\mu\text{m}$ 〜 $1.65\mu\text{m}$)内では、少なくとも r_a が(2)式の範囲内であれば、35nm以上の完全PBG幅を持つ2次元フォトニック結晶が得られる。もちろん、中心波長が $1.25\mu\text{m}$ 以外の場合にも上記と同様の計算を行うことにより、その波長において設定可能な r_a の範囲を求めることもできる。

- [0033] 上記実施例では、基本形状を正三角形とし、頂点を円弧状に角取りしたもののについて説明したが、基本形状が正方形や正六角形等の場合にも、本発明を適用することにより、隣接空孔の頂点間に十分な距離を確保しつつ、FF値を大きくすることができる。但し、3mの対称性を有するという点から、正三角形を基本形状としたものがより望ましい。また、頂点付近の形状は、上記実施例では円弧状のもののみを示したが、楕円弧状等、その他の形状であってもよい。
- [0034] 上記実施例では空孔(格子点)の配置を三角格子状としたが、図9(a)のように空孔22を正六角形のハニカム状に配置してもよい。また、(b)に示すように、空孔の配置は図2と同様に三角格子状とし、空孔の向きを格子に対して回転(この例では 30° 回転)させてもよい。これらの場合にはいずれも、空孔の形状が3mの対称性を満たすため、隣接空孔間の距離(すなわち、フォトニック結晶の強度)を確保しつつ、FF値を大きくすることができる。
- [0035] 本実施例の2次元フォトニック結晶により形成される光分合波器の一例を図10に示す。或る格子点において空孔22を設けないか、又はその大きさもしくは形状を他の空孔とは異なるものとするにより、空孔22の欠陥を形成する。この欠陥を線状に設けることにより導波路51が形成される。なお、導波路51の場合は、本体21の面に垂直な方向に光が漏れないように、(空孔22の大きさや形状を変えるのではなく)空孔22を設けない(欠損させる)ことにより形成することが望ましい。また、導波路51の近傍に空孔22の欠陥を点状に設けることにより、光共振器52を形成する。点状欠陥は1個の空孔のみの欠陥であってもよく、また、隣接する複数の空孔に欠陥を形成することによっても1個の光共振器が形成される。このように導波路51及び光共振器

52を設けることにより、この2次元フォトニック結晶は、導波路51を流れる光のうち、所定の波長の光を導波路51から光共振器52を介して外部へ取り出す光分波器、及び所定の波長の光を外部から光共振器52を介して導波路51へ導入する光合波器として機能する。

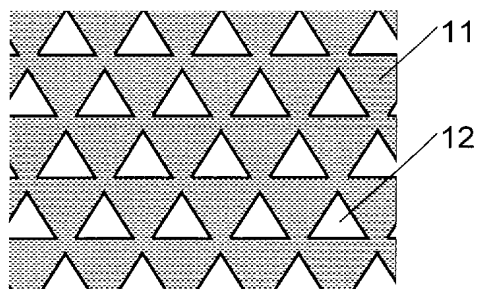
なお、この光分合波器は、空孔の形状及びそれから得られる効果を除いて、特許文献1や特開2003-279764号等に記載の光分合波器と同様である。そのため、これらの文献に記載された種々の光分合波器の構成に本発明の空孔の形状を適用したものは、本発明の範囲に含まれる。

請求の範囲

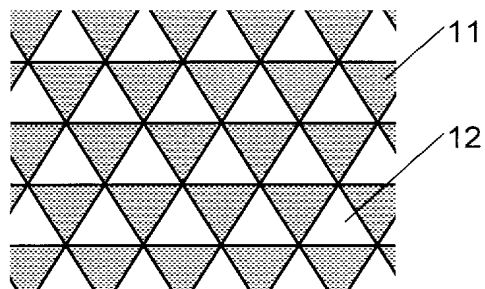
- [1] スラブ状の本体に該本体とは屈折率の異なる同一形状の領域を周期的に配置して成る2次元フォトニック結晶であって、
前記異屈折率領域の平面形状が、頂点を角取りした多角形であることを特徴とする2次元フォトニック結晶。
- [2] 前記異屈折率領域が3mの対称性を有する形状であることを特徴とする請求項1に記載の2次元フォトニック結晶。
- [3] 前記多角形が正三角形であることを特徴とする請求項2に記載の2次元フォトニック結晶。
- [4] 頂点を円弧状に角取りしたことを特徴とする請求項1に記載の2次元フォトニック結晶。
- [5] 前記異屈折率領域の配置が三角格子状であり、前記多角形が正三角形であり、本体の屈折率が3.15〜3.55の範囲内にあって、
前記円弧の半径 r_a が次式を満足することを特徴とする請求項4に記載の2次元フォトニック結晶。

$$0 < r_a < [1.23(\text{FF}-0.34)^{0.5} - 1.28(\text{FF}-0.34) + 1.03(\text{FF}-0.34)^2]$$
(FF: 本体中の異屈折率領域の面積分率)
- [6] 本体中の異屈折率領域の面積分率FFの値が0.45〜0.85の範囲内にあることを特徴とする請求項1に記載の2次元フォトニック結晶。
- [7] FFの値が0.5〜0.70の範囲内にあることを特徴とする請求項6に記載の2次元フォトニック結晶。
- [8] 異屈折率領域が空孔からなることを特徴とする請求項1に記載の2次元フォトニック結晶。
- [9] 請求項1に記載の2次元フォトニック結晶に、異屈折率領域の欠陥を線状に設けて成ることを特徴とする光導波路デバイス。
- [10] 請求項1に記載の2次元フォトニック結晶に、異屈折率領域の欠陥を点状に設けて成ることを特徴とする光共振器デバイス。
- [11] 請求項1に記載の2次元フォトニック結晶と、該2次元フォトニック結晶に異屈折率

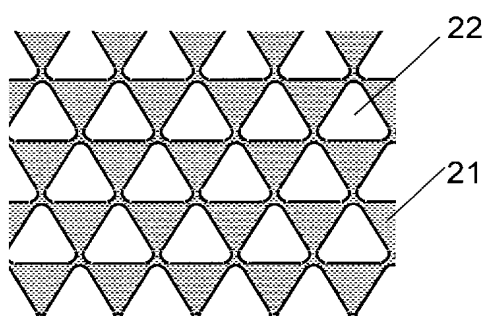
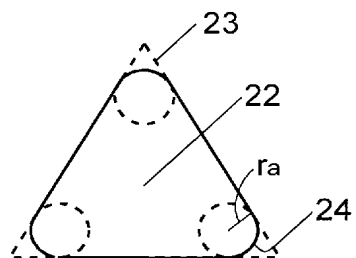
領域の欠陥を線状に設けて成る少なくとも1本の光導波路と、該光導波路の近傍に異屈折率領域の欠陥を点状に設けて成る少なくとも1個の光共振器と、を備えることを特徴とする光分合波器。

[[図1]]
(a)

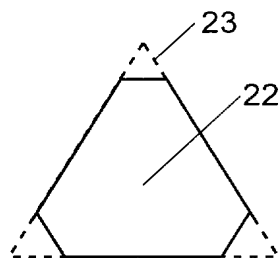
(b)



[[図2]]

[[図3]]
(a)

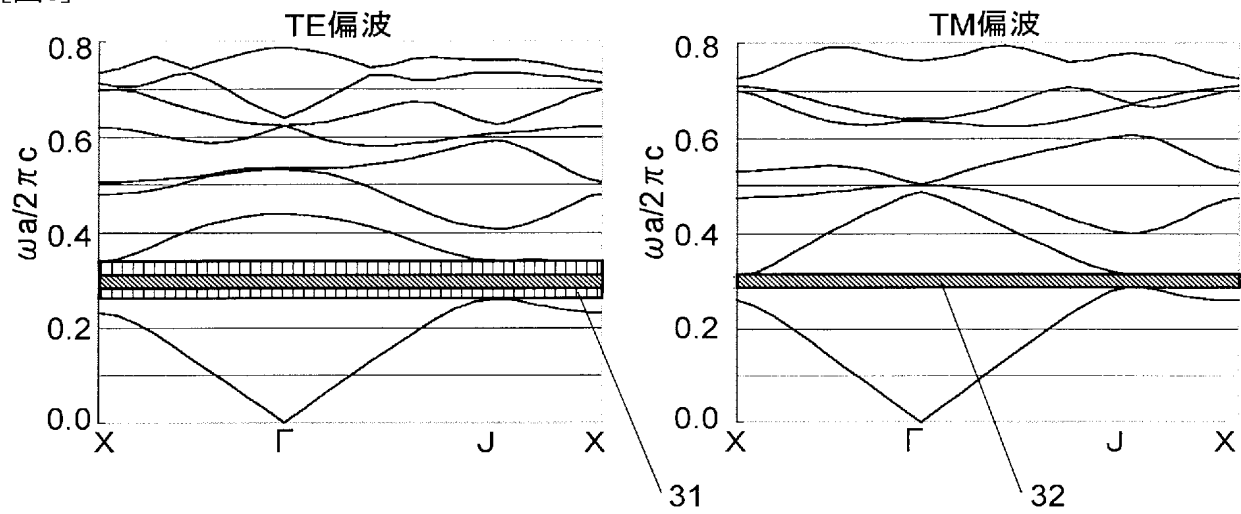
(b)



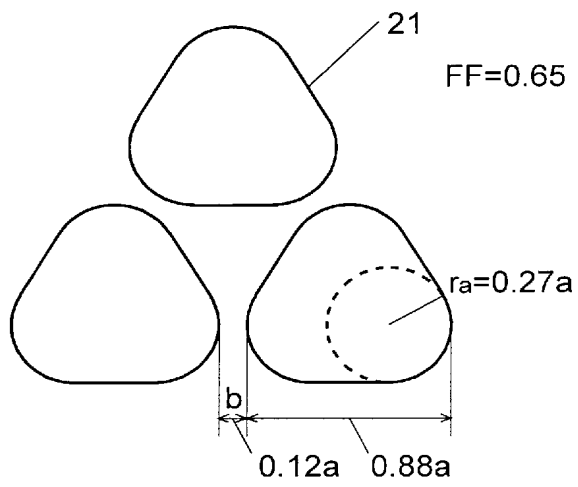
[[図4]]



[図5]

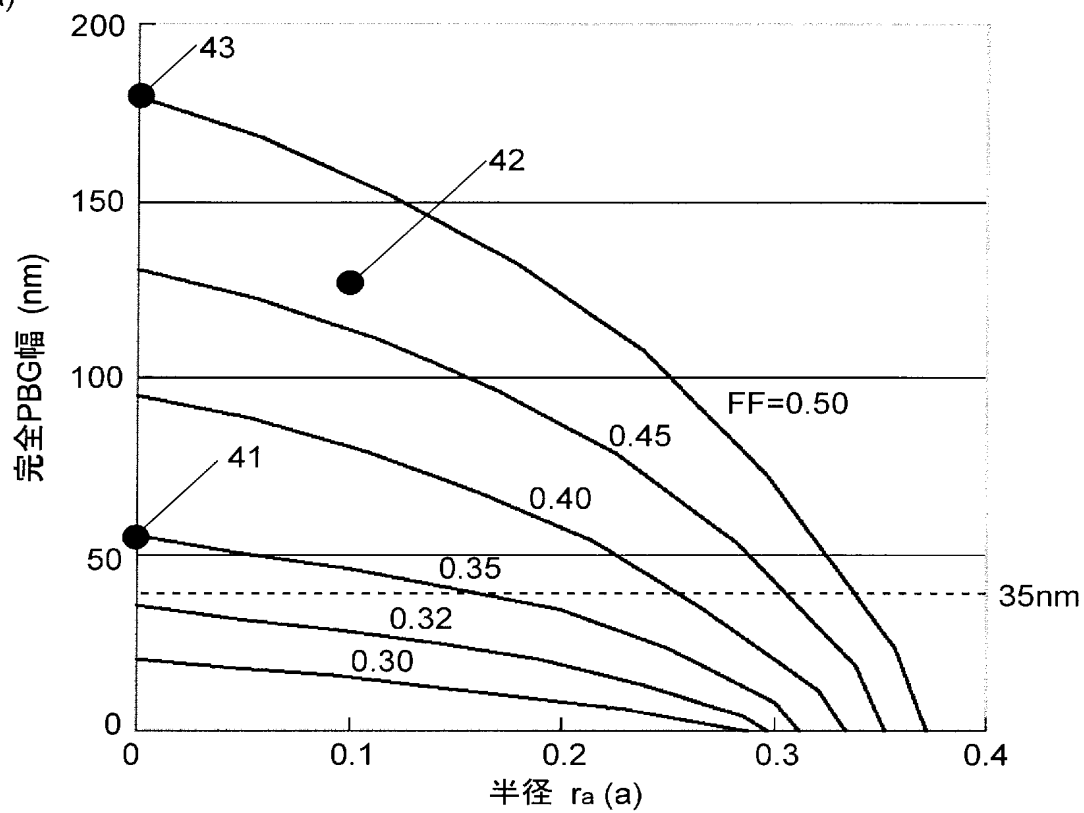


[図6]

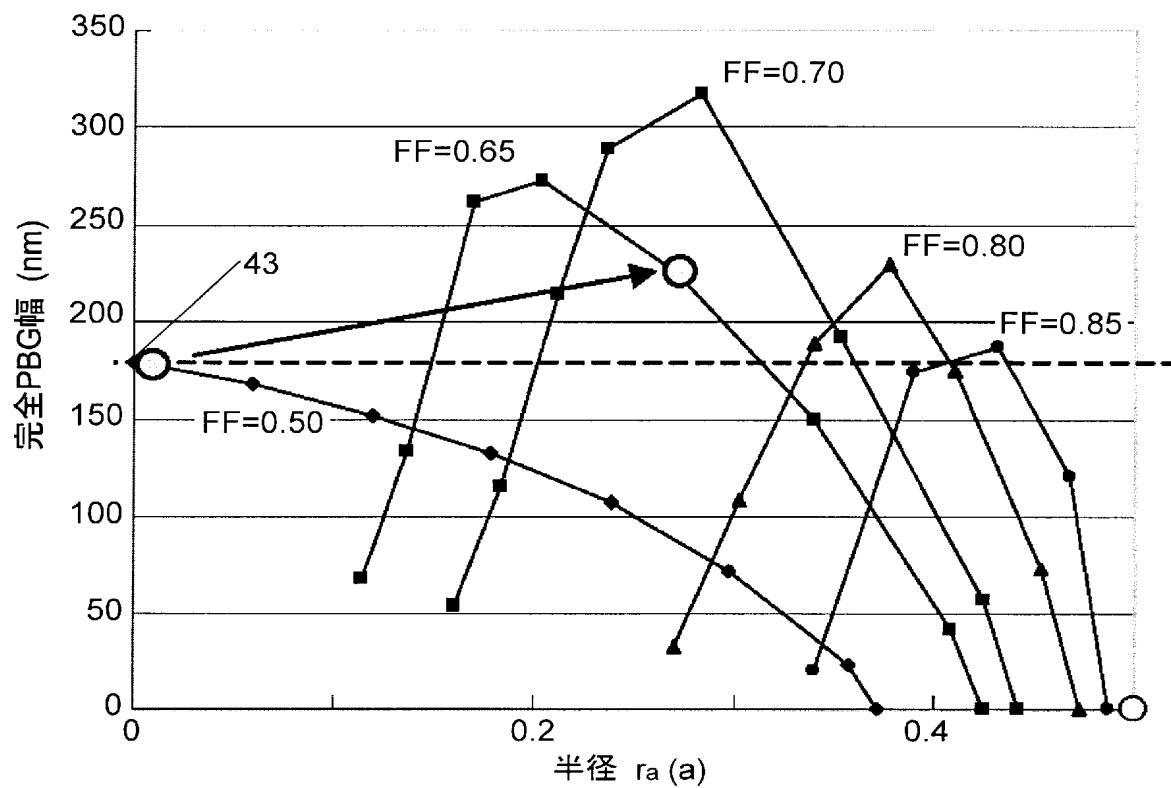


[図7]

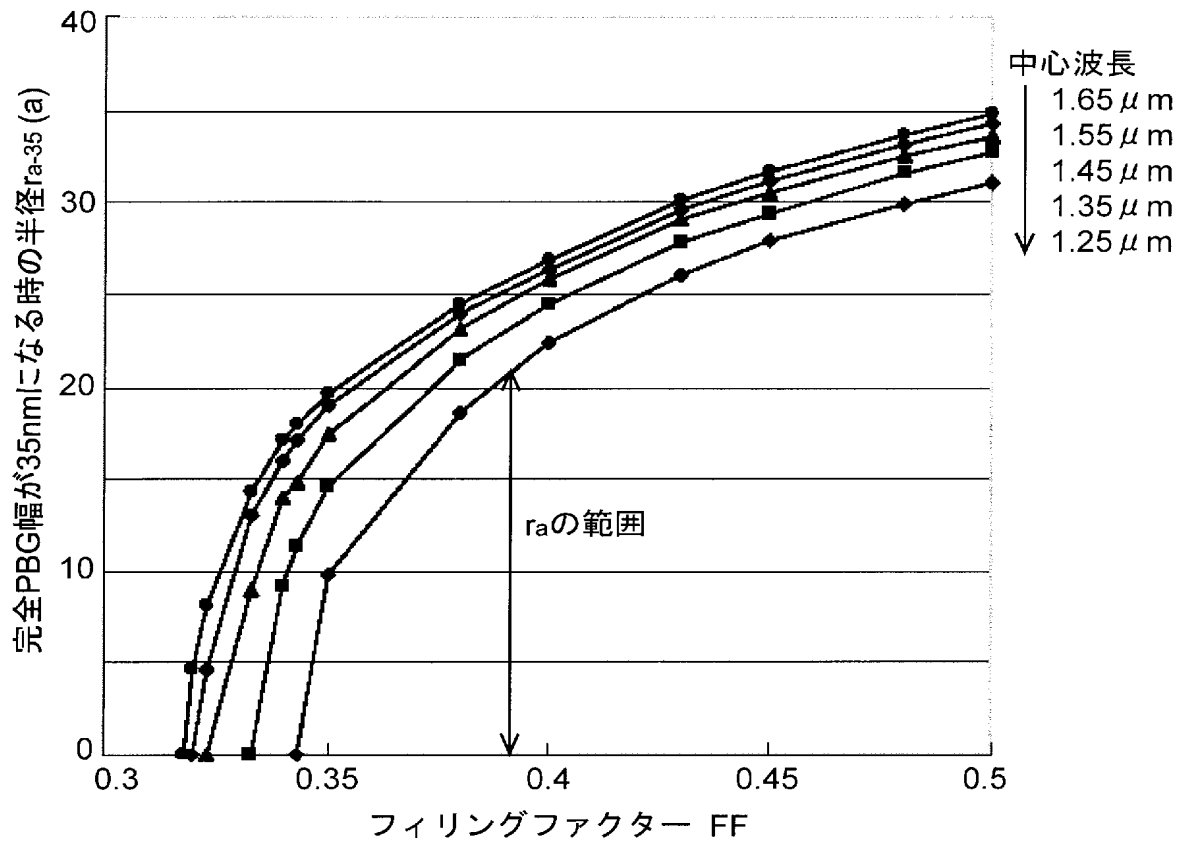
(a)



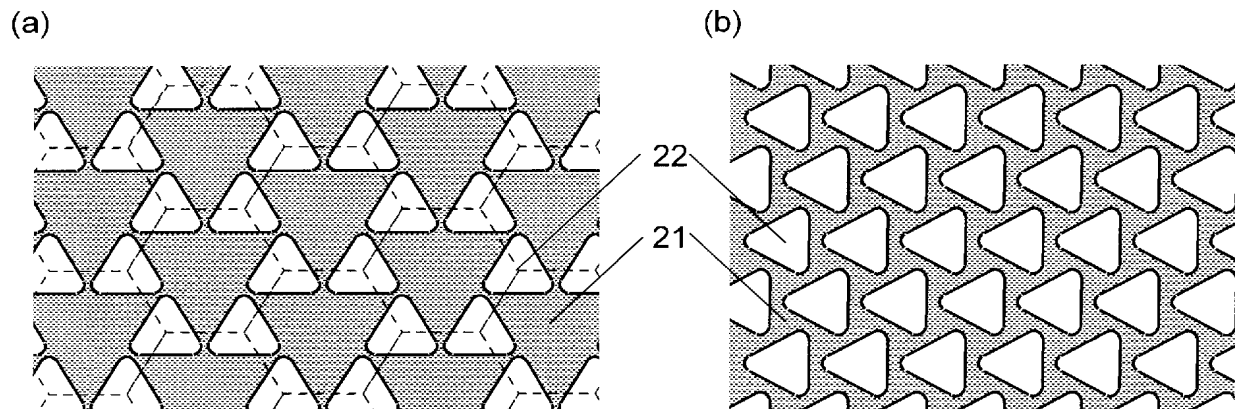
(b)



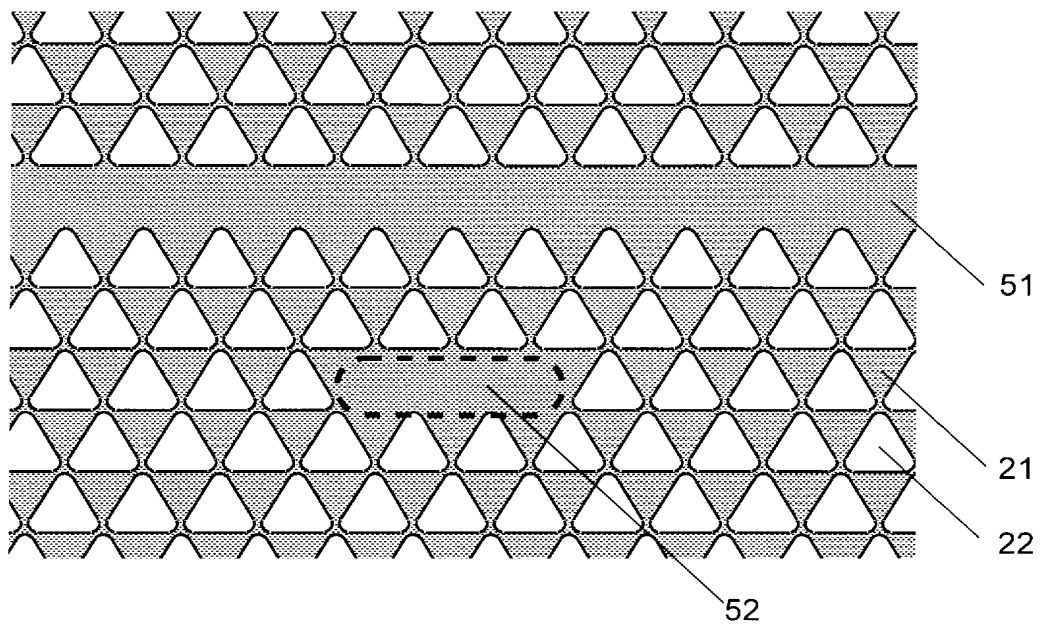
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/003796

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl.⁷ G02B1/02, G02B6/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ G02B1/02, G02B6/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2002-084037 A (Canon Inc.), 22 March, 2002 (22.03.02), Par. Nos. [0023], [0024], [0031], [0032]; Figs. 1, 2, 4 (Family: none)	1-8 9-11
X Y A	JP 2000-249828 A (Showa Electric Wire & Cable Co., Ltd.), 14 September, 2000 (14.09.00), Par. Nos. [0012] to [0018]; Figs. 1, 2 (Family: none)	1, 4, 6-8 9-11 2, 3, 5
X Y A	JP 2001-174652 A (Showa Electric Wire & Cable Co., Ltd.), 29 June, 2001 (29.06.01), Par. Nos. [0010] to [0018]; Figs. 1 to 6 (Family: none)	1, 4, 6-8 9-11 2, 3, 5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
24 March, 2005 (24.03.05)

Date of mailing of the international search report
12 April, 2005 (12.04.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/003796

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2003-279764 A (Japan Science and Technology Corp.), 02 October, 2003 (02.10.03), Par. No. [0005] & WO 2003/081304 A1	9-11

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B 1/02, G02B 6/12

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B 1/02, G02B 6/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2005年

日本国登録実用新案公報 1994-2005年

日本国実用新案登録公報 1996-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	J P 2002-084037 A (キヤノン株式会社) 2002. 03. 22 【0023】、【0024】、【0031】、【0032】、図 1、図2、図4 (ファミリーなし)	1-8 9-11
X Y A	J P 2000-249828 A (昭和電線電纜株式会社) 2000. 09. 14 【0012】-【0018】、図1、図2 (ファミリーなし)	1, 4, 6-8 9-11 2, 3, 5

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

24. 03. 2005

国際調査報告の発送日

12. 4. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

吉野 公夫

2 V

8106

電話番号 03-3581-1101 内線 3229

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2001-174652 A (昭和電線電纜株式会社) 2001. 06. 29	1, 4, 6-8
Y A	【0010】 - 【0018】、図1-6 (ファミリーなし)	9-11 2, 3, 5
Y	JP 2003-279764 A (科学技術振興事業団) 2003. 10. 02 【0005】 & WO 2003/081304 A1	9-11